光质及种子大小对普洱地区 14 种植物种子萌发的影响

罗娅婷，邱其伟，崔现亮*

（云南省高校亚热带药用食用生物资源开发与利用重点实验室，普洱学院生物与化学学院，云南 普洱 665000）

摘要：以普洱地区 14 种常见植物种子为材料，在实验室条件下研究了其在白光、黑暗、红光和蓝光条件下的萌发特性，并分析了种子大小与萌发率、萌发速率、萌发开始时间的关系，拟为当地植物被保护提供一定的科学依据。结果表明：光质对四方蒿、沙针、尖子木、藿香蓟种子萌发率和萌发速率均有显著影响（P<0.05）。光质对大叶斑鸠菊、云南山枇花、臭灵丹、车桑子、光萼猪屎豆、葫芦茶、云南地桃花、西南宿苞豆、岗柃、中国宿苞豆 10 个物种的种子萌发率和萌发速率均没有显著影响（P>0.05），以上物种中除中国宿苞豆外，其他物种种子萌发率均在 20% 以下，处于休眠状态。四方蒿种子在白光（89.9%）和红光（84.7%）下萌发率最高，红光下种子萌发最快（4.93），蓝光下种子萌发开始时间最晚（11.3 d）；沙针种子在白光下萌发率最高（80.4%）、萌发速率最快（2.71），在黑暗和蓝光下萌发率较低（43.9%和 38%）、萌发速率最慢（0.73 和 0.85），白光、红光下萌发开始最早（11 d），黑暗条件下萌发开始最晚（21.7 d）；尖子木种子萌发率在白光、黑暗、蓝光下均在 86%以上，而红光下仅 32%且萌发速率最慢（1.29），在蓝光下萌发开始时间最晚（13 d）；藿香蓟种子萌发率和萌发速率在红光下最高（分别为 71.3%和 6.46），黑暗条件下最低（分别为 42.5%和 2.62）；大叶斑鸠菊萌发开始时间在黑暗条件下最早（6 d），然后是白光下（7 d），蓝光和红光下较晚，分别为 8 d 和 7.7 d。14 个物种种子的萌发率与种子大小间均有显著负相关关系；种子萌发速率、萌发开始时间与种子大小间也有负相关关系，但不显著；种子大小与萌发率、萌发速率和萌发开始时间的关系不会随着光质的变化而发生变化。

关键词：光质，蓝光，红光，萌发，种子大小

中图分类号：Q945　　　　文献标识码：A

DOI：10.11931/guihaia.gxzw201806009

Effect of light qualities and seed size on 14 species of plants in Pu'er region

LUO Yating，QIU Qiwei，CUI Xianliang*

(*Key Laboratory of Subtropical Medicinal Edible Resources Development and Utilization in Yunnan Province, College of Biology and Chemistry*, Puer University, Puer, Yunnan 665000, China）

Abstract：In order to provide a scientific basis for the protection of local plants, the germination characteristics of 14 common plant seeds in Puer were studied under the conditions of white light, dark, red light and blue light, and the relationships between seed size and germination percentage and germination rate were analyzed. The results showed that light qualities had significant effects on seed germination percentage and germination rate on *Elsholt*

收稿日期：2018-06-05

基金项目：云南省教育厅科学研究基金项目（2015Y493）[Supported by department of education scientific research foundation of Yunnan]；国家自然科学基金项目(31360059)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(31360059)]。

作者简介：罗娅婷（1984-）,女（白族）,云南大理人,硕士,讲师,主要从事植物营养学、种子生态学研究,（E-mail）411752381@qq.com。

***通讯作者:**崔现亮,硕士,副教授,主要从事种子生态学研究,（E-mail）cuixianliang1234@163.com

zia blanda, Osyris quadripartita, Oxyspora paniculata, Ageratum conyzoides(p<0.05). The quality of light had no effect on the germination percentage and germination rate of 10 species,*Vernonia volkameriifolia*, *Gordonia chrysandra*, *Laggera pterodonta*, *Dodonaea viscosa*, *Crotalaria zanzibarica*,*Tadehagi triquetrum*,*Urena lobata*,*Shuteria vestita*,*Eurya groffii*(p>0.05). Among the 10 species, only the seeds of *Shuteria involucrata* had germination rate > 20%, all others<20%. The *Elsholtzia blanda* seeds had the highest percentage in white (89.9%) and red light (84.7%), germinated fastest in red light(4.93) and at the latest in blue light(11.3d).The germination percentage of *Osyris quadripartita* seeds was the highest(80.4%) and their germination rate was the fastest in white light(2.71), the case was opposite under dark and blue light.The seeds of *O. quadripartita* germinated firstly under white and red light(11d) and lastly under dark light(21.7d). The *O. paniculata* seeds had germination rate >86% under white and blue light and dark condition, had germination rate of 32% and germinated slowest in red light(1.29), and germinated lastly in blue light(13d). The *Ageratum conyzoides* seeds had highest germination percentage(71.3%) and germination rate(6.46) in red light, lowest in dark condtion(42.5% and 2.62). The germination initiation time of *Vernonia volkameriifolia* was first in dark condition(6d), then is white light(7d), and the last is in blue(8d) and red light(7.7d). There was a significant negative correlation between seed germination rate and seed size in 14 species. There was also a negative correlation between seed germination rate, germination initiation time and seed size, but it was not significant. The relationship between seed size and germination percentage, germination rate and initiation time did not change with the change of light quality.

Key Words: light quality, blue light, red light, germination, seed size

种子在植物一生中具有非常重要的意义，它是一种潜在的植物群落，而且种子萌发对自身种群更新和物种延续具有非常重要的作用（张敏, 2012）。种子萌发需要合适的条件，如光照、温度和水分等(闫兴富,2006; Baskin & Baskin, 1998; Bewley & Black,1982;Roberts, 1986），还受植物的生境（阳坡、阴坡、海拔等）和贮藏条件（冷藏、常温贮藏等）等的影响（崔现亮,2015）。

光对植物非常重要，它不仅是一种能源，也是一种环境信号（Godo, 2011）。光信号/质量（波长）的变化可以影响植物的各种生理过程（如细胞内和细胞间分化、种子萌发和幼苗生长、光合作用、开花等），而这种影响取决于物种、发育阶段和器官(He,2017)。在拟南芥种子萌发过程中，绿光能促进茎的早期伸长，拮抗光对生长的抑制作用，而在白光和红光下，蕨类植物可延缓由于叶绿素损失而引起的衰老(Burescu,2015)。Jala(2011)发现，白光和红光下芒草（*Nepenthes mirabilis*）种子最早发芽，绿光下种子最后发芽，红光下幼苗的平均出苗速度也最高。赵停等（2018）对远志种子研究发现红光能够促进其种子萌发，而种子萌发不受光照强度的影响；刘卫成等(2016)发现红光对黄瓜种子的发芽有利，蓝光则抑制种子的发芽；韦峰等(2015)研究表明红光、蓝光均能够明显促进辣椒种子的萌发，以红光效果最好；崔现亮等（2014a）研究表明红光下山梅花、南川绣线菊、高山绣线菊红光种子萌发速率最快，蓝光下萌发速率最慢，三种植物种子萌发率对光质的需求也是不一样的。而关于光质（红光、蓝光、白光、黑暗）对普洱地区大叶斑鸠菊(*Vernonia volkameriifolia*)、云南山枇花(*Gordonia chrysandra*)、臭灵丹(*Laggera pterodonta*)、车桑子(*Dodonaea viscosa*)、光萼猪屎豆(*Crotalaria zanzibarica*)、葫芦茶(*Tadehagi triquetrum*) 、云南地桃花(*Urena lobata*)、西南宿苞豆(*Shuteria vestita*)、岗柃(*Eurya groffii*)、四方蒿(*Elsholtzia blanda*)、沙针(*Osyris quadripartita*)、尖子木(*Oxyspora paniculata*)、藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)、中国宿苞豆（*Shuteria involucrata*）这 14 种植物种子萌发影响的研究还没有报道。

种子大小是种子植物很重要的特征之一。作为谱系进化并形成物种，扩散和建植生物的可能性必须以种子大小为条件，相反，种子大小的自然选择又必须以一个物种的扩散和建植

生物来塑造。种子萌发是植物生活史的开始，对后续的生活史阶段有很重要的影响。处于植物生活史核心地位的种子大小势必影响植物的萌发对策(王晨阳,2011)。种子大小与萌发的关系激发了很多生态学者极大的兴趣，这种关系在整个区系内、科内、属内、种内均有研究。Haiyan Bu（2007）研究了青藏高原东缘 570 个物种，发现种子越大（重）萌发率越低，且种子越大（重）萌发开始时间越早；崔现亮等（2008）对青藏高原东缘 43 种灌木种子进行了研究，发现种子越大萌发率越低、萌发速率越慢，它们之间具有显著的负相关关系；王桔红等（2007）对中生植物和旱生植物做了比较，中生植物的种子大小与萌发率、萌发速率有显著的负相关关系，而旱生植物的种子大小与萌发率、萌发速率无关；宗文杰等（2006）发现青藏高原 51 种菊科植物的种子越大萌发速率越慢，且关系显著，但种子大小与种子萌发率没有关系；崔现亮等（2010）对小檗属内 11 种植物研究发现，种子大小与萌发率、萌发速率、萌发持续时间均显著负相关，且种子越大（重）萌发开始时间越早。这些研究都是在某个区系中进行的。而关于普洱地区区系中种子大小与萌发能力的关系还未见报道。

本文对普洱地区 14 种常见植物种子进行研究，这 14 种植物均为该地区乔木层、灌木层和草本层的常见植物。拟解决问题：（1）不同光质对种子萌发特性有无影响？（2）种子大小对种子萌发有无关系，且种子大小与萌发的关系能否随着光质的变化而变化？并能够通过本研究以期对普洱地区种质资源保护提供一定的数据支持。

1. 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于普洱市思茅区，地处在 22°27′—23°06′N，100°19′—101°27′E，海拔 578~2 154 m。年均温 17.9 ℃，年无霜期 315 d，年均降雨量 1 517.8 mm，属亚热带高原季风气候，具有低纬、高温、多雨、静风的特点。境内冬无严寒，夏无酷暑，山势缓和，地形较丰富(崔现亮,2014b)。

1.2 种子采集及处理

种子于 2016 年 9—12 月分别采集于普洱市思茅区佛莲山和那贺水库附近山林。所研究植物种子采集海拔在 1 238~1 705 m 之间，每个物种的种子成熟后采自至少 20 株植物，充分混合后，自然风干，在室温条件下干燥储藏(崔现亮,2014b)。

1.3 种子大小测定

每个物种选取干燥种子 1 000 粒 3 份，分别进行称重，取其平均值作为种子千粒重(崔现亮，2014a)。

1.4 实验方法

种子自然干燥储藏 60 d 后进行萌发实验。萌发温度设置为变温 10 ℃ /25 ℃；萌发光照条件为： 白光（24 h）、黑暗（24 h）、 红光（24 h，波长 660 nm）、蓝光（24 h，波长 447 nm）。每个物种每一处理选取 50 粒饱满种子，3 次重复，放入铺有 2 层滤纸、直径为 90 mm 的培养皿中，在培养箱内进行萌发实验，期间每天加少量蒸馏水保证滤纸浸湿（崔现亮,2014a，2014c）。每 24 h 进行萌发检测，黑暗中种子萌发检测在绿光下进行，统计萌发个数，以胚芽出现视为种子发芽，并将其移走，实验持续 40 d。实验结束后，对未萌发的种子进行活性检测（TTC 法）。在萌发期间萌发率低于 20%，认定该物种休眠（Jurado & Flores 2005;崔现亮 2014a）。

1.5 分析方法

采用 one- way ANOVA 检验光质对萌发率、萌发速率的影响程度；各处理之间的差异情况采用最小显著差异法（LSD）进行检验；种子萌发率、萌发速率、萌发开始时间与种子大小的关系用 Pearson 相关分析 (萌发率、萌发速率、萌发开始时间和种子大小进行反正切转换）(崔现亮，2008，2014a，2014b，2014c，2015)。主要萌发指数：萌发率，即种子萌发总

数占实验末期活力种子总数的百分率(%)；萌发速率指数（GR）= $G_1/T_1+G_2/T_2+\ldots+G_t/T_t$，Tt 为相应的萌发天数，Gt 为 t 时间的萌发百分数(崔现亮，2008，2014a，2014b，2014c，2015)。统计分析使用 SPSS17. 0。

2. 结果

2.1 不同光质对种子萌发的影响

表 1 14 种植物种子大小及不同光质下萌发率、萌发速率和萌发开始时间

Table1 Seed size and germination characteristics of 14 species under different light quality

物种 Species	千粒重（g） Seed size(g)	光照条件 Light											
		白光 White light			黑暗 Dark			蓝光 Blue light			红光 Red light		
		萌发率% Germination percentage	萌发速率 Germination rate	萌发开始时间 Days to first germination	萌发率% Germination percentage	萌发速率 Germination rate	萌发开始时间 Days to first germination	萌发率% Germination percentage	萌发速率 Germination rate	萌发开始时间 Days to first germination	萌发率% Germination percentage	萌发速率 Germination rate	萌发开始时间 Days to first germination
大叶斑鸠菊 *Vernonia volkameriifolia*	0.52±0.02	6.0±1.6a	0.39±0.11a	7.0±0ab	17.3±7.4b	0.97±0.21b	6±0a	16.0±0ab	0.77±0.99ab	8±1b	13.3±5.7ab	0.68±0.29ab	7.7±0.6b
云南山枇花 *Gordonia chrysandra*	24.25±0.69	5.3±5.0a	0.07±0.11a	35.6±14ab	4.0±5.7a	0.04±0.06a	49±1.7b	4.2±0a	0.07±0.02a	31±12.7a	20.0±8.6b	0.37±0.16b	20.3±5.8a
臭灵丹 *Laggera pterodonta*	0.03±0.001	3.3±2.5a	0.10±0.09a	30.7±17ab	1.3±1.9a	0.06±0.09a	39±19.1b	1.3±0a	0.02±0.02a	47.5±3.5b	4.0±1.6a	0.17±0.67a	14.7±3.2a
车桑子 *Dodonaea viscosa*	7.56±0.32	0a	0a	—	0a	0a	—	0.1±0.3a	0.23±0.17b	14.7±3.2	0a	0b	—
光萼猪屎豆 *Crotalaria zanzibarica*	3.76±0.09	18.4±5.4a	2.99±1.41a	2±0a	12.7±2.5a	2.58±0.38a	1.7±0.6a	11.2±2.9a	2.58±0.65a	2±0a	14.0±2.8a	2.29±0.59a	2±0a
藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	0.09±0.003	68.8±8.7b	6.39±1.11a	3.7±0.6a	42.5±9.0a	2.62±0.55b	4±1a	62.8±5.4b	5.66±0.28b	3.3±0.6a	71.3±3.4b	6.46±0.09a	4±0a
葫芦茶 *Tadehagi triquetrum*	10.31±0.06	9.3±7.5a	1.67±1.73a	2.7±0.6a	6.7±1.9a	1.11±0.31a	3±0a	12.0±4.0a	1.42±0.47a	3±0a	12.0±3.3a	1.85±0.71a	2.3±0.6a
云南地桃花 *Urena lobata*	1.46±0.06	2.0±1.6a	0.15±0.22a	25.3±22.8a	0a	0a	—	2.0±1.6a	0.11±0.09a	22.7±24a	0a	0a	—
西南宿苞豆 *Shuteria vestita*	4.07±0.09	8.0±4.3a	0.71±0.37a	3.3±0.6a	9.3±3.4a	0.69±0.12a	4±0a	4.0±3.7a	0.47±0.38a	3±0a	4.7±0.9a	0.53±0.09a	3.7±1.2a
中国宿苞豆 *Shuteria involucrata*	6.49±0.74	39.0±20.8 a	2.83±1.82a	4±0a	24.8±9.8a	1.33±0.83a	13±15.6a	33.8±13.8a	1.24±0.69a	8.5±6.4a	12.0±8.6a	1.03±0.74a	7.3±5.8a
四方蒿 *Elsholtzia blanda*	0.08±0.002	89.9±9.3a	3.83±1.06a	5±0a	44.3±2.9b	2.87±0.58a	5±0a	61.6±7.3b	1.36±0.13b	11.3±0.6b	84.7±9.4a	4.93±0.77b	5±0a
沙针 Osyris quadripartita	0.02±0.005	80.4±5.8a	2.71±0.28a	11±0a	43.9±1.4b	0.73±0.06b	21.7±4.6b	38.0±2.0b	0.85±0.02b	16±0c	70.8±4.7a	2.43±0.10b	11±0a
尖子木 *Oxyspora paniculata*	0.09±0.002	89.3±8.2b	3.52±0.34b	11.7±0.6a	87.5±3.4b	3.53±0.13b	11±0a	86.5±10.8b	2.88±0.39c	13±0b	32.0±4.3a	1.29±0.12a	11.7±1.2a

岗柃 *Eurya groffii*	0.77±0.01	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—

注：同种同一类别中，同一指标字母相同表示差异不显著(P>0.05)，字母不同表示差异显著（P<0.05）。

Note： In the same category, the same index letter indicates that the difference was not significant (P>0.05), while the difference in letters indicates that the difference was significant (P <0.05).

2.1.1 光质对种子萌发率的影响

14 种植物中，大叶斑鸠菊、云南山枇花、臭灵丹、车桑子、光萼猪屎豆、葫芦茶、云南地桃花、西南宿苞豆、岗柃 9 个物种的种子在红光、蓝光、白光和黑暗条件下的萌发率均小于 20%（表 1）。

单因素方差分析显示，光质对四方蒿、沙针、尖子木种子萌发率有极显著的影响（P<0.001），对藿香蓟种子萌发率有显著影响（P<0.05）；光质对大叶斑鸠菊、云南山枇花、臭灵丹、车桑子、光萼猪屎豆、葫芦茶、云南地桃花、西南宿苞豆、岗柃、中国宿苞豆 10 个物种的种子萌发率均没有显著影响（表 2）。

四方蒿种子在白光（89.9%）和红光下（84.7%）的萌发率均在 84%以上，显著高于黑暗（44.3%）、蓝光下（61.6%）的萌发率；沙针种子在白光下（80.4%）和红光下（70.7%）的萌发率，显著高于黑暗（43.9%）和蓝光（38%）下的萌发率；尖子木种子萌发率在白光、黑暗、蓝光下均在 86%以上，均显著高于红光下（32%）。藿香蓟种子萌发率在红光下（71.3%）最高，略高于白光（68.8%）和蓝光（62.8%），黑暗（42.5%）条件下萌发率最低，显著低于其他三个水平。

2.1.2 光质对种子萌发速率的影响

光质对藿香蓟、沙针、尖子木种子萌发速率有极显著影响（P<0.001），对四方蒿萌发速率有显著影响（P<0.05）。光质对大叶斑鸠菊、云南山枇花、臭灵丹、车桑子、光萼猪屎豆、葫芦茶、云南地桃花、西南宿苞豆、岗柃、中国宿苞豆 10 个物种的种子萌发速率均没有显著影响（表 2）。

四方蒿种子在红光下萌发速率最快（4.93），显著高于其他条件下的萌发速率，蓝光条件下萌发速率最慢（1.36）；沙针种子萌发速率在白光下最快（2.73），显著高于其他三个条件，黑暗条件下最慢（0.71）；尖子木种子萌发速率在白光和黑暗下最快（3.52 和 3.53），红光下最慢（1.29）；藿香蓟种子萌发速率在红光下最快（6.46），略高于白光下（6.39），显著高于其他条件下的萌发速率。

2.1.3 光质对种子萌发开始时间影响

光质对大叶斑鸠菊、云南地桃花、四方蒿、沙针、尖子木 5 种植物的种子萌发开始时间有显著影响（P＜0.05），对研究的其他物种没有显著影响。

四方蒿种子在白光、红光、黑暗条件下均在第 5 天开始萌发，而蓝光下在第 11 天才开始萌发；沙针种子在红光（11 d）和白光（11 d）下萌发开始时间最早，黑暗（21.67 d）条件下发芽开始时间最晚；尖子木种子在蓝光下萌发开始时间最晚（13 d），显著低于其他三个条件，白光、红光、黑暗下开始时间没有显著差异；大叶斑鸠菊萌发开始时间在黑暗条件下最早，然后是白光下，蓝光和红光下较晚。

表 2 光质对 14 种植物种子萌发率和萌发速率影响（单因素方差分析）

Table1 Effect of light quality on seed germination characteristics of 14 plants (one- way ANOVA)

物种 Species	萌发率 Germination percentage			萌发速率 Germination rate		
	df	F	p	df	F	p
大叶斑鸠菊 *Vernonia volkameriifolia*	3	2.281	ns	3	3.193	ns
云南山枇花 *Gordonia chrysandra*	3	3.674	ns	3	5.467	ns

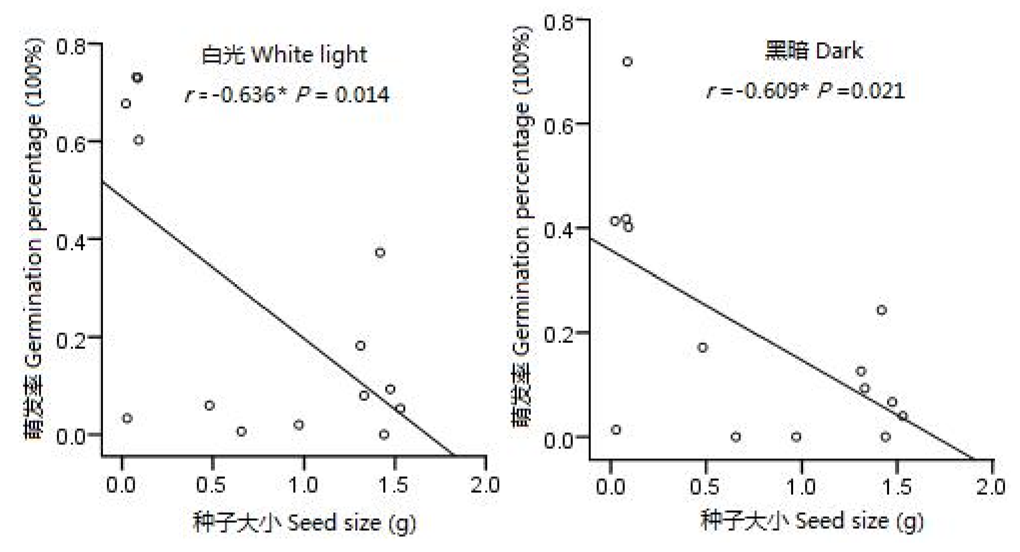
臭灵丹 *Laggera pterodonta*	3	0.944	ns	3	1.512	ns
车桑子 *Dodonaea viscosa*	3	3.000	ns	3	3.692	ns
光萼猪屎豆 *Crotalaria zanzibarica*	3	1.479	ns	3	0.297	ns
藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	3	6.910	*	3	21.392	***
葫芦茶 *Tadehagi triquetrum*	3	0.638	ns	3	0.300	ns
云南地桃花 *Urena lobata*	3	2.000	ns	3	0.353	ns
西南宿苞豆 *Shuteria vestita*	3	1.270	ns	3	1.270	ns
中国宿苞豆 *Shuteria involucrata*	3	1.533	ns	3	1.441	ns
四方蒿 *Elsholtzia blanda*	3	15.112	***	3	10.808	**
沙针 Osyris quadripartita	3	42.988	***	3	101.612	***
尖子木 *Oxyspora paniculata*	3	29.163	***	3	34.054	***
岗柃 *Eurya groffii*	3	1.000	ns	3	1.000	ns

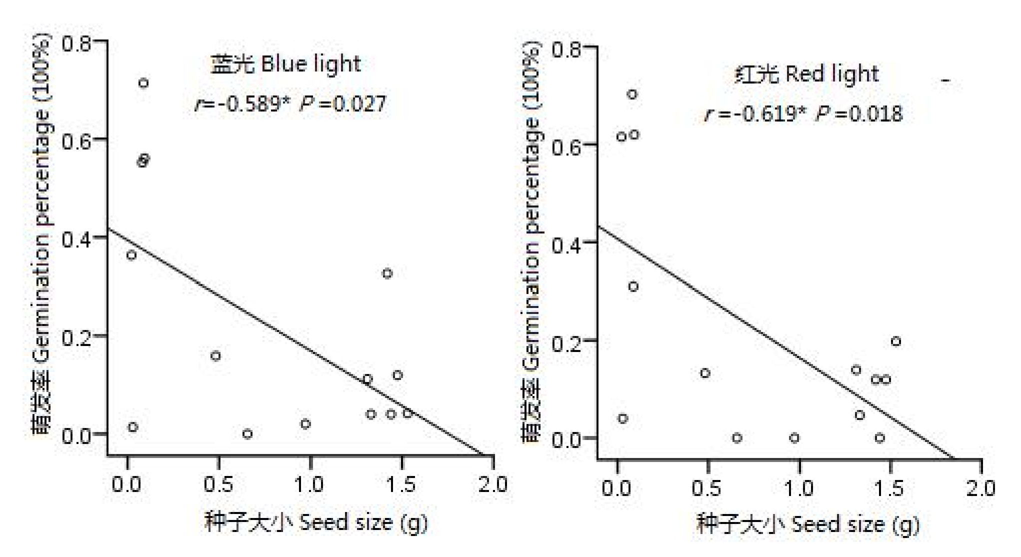
2.2 种子大小对种子萌发的影响

本研究所用的 14 个物种中，种子大小变异较大，平均种子重 4.249 mg/粒，最大种子为云南山枇花 24.25 mg/粒，最小种子为沙针 0.02 mg/粒。（表 1）

相关分析显示：在白光、黑暗、蓝光、红光条件下 14 种植物种子的萌发率与种子大小间均有显著负相关关系（图 1）；种子萌发速率、萌发开始时间与种子大小间也有负相关关系，但不显著。

分别取 4 种菊科植物、4 种蝶形花科植物种子分析，在白光、黑暗、蓝光、红光条件下，萌发率、萌发速率与种子大小间均没有显著相关关系。





注：萌发率和种子大小进行反正切转换。

Note：The germination percentage and seed size were arctangent transformed.

图 1 14 种植物种子大小（千粒重）与萌发率的关系

Fig.1 Relationship between seed size（1000-grain weight）and seed germination percentage

3. 结论与讨论

14 种植物中，大叶斑鸠菊、云南山枇花、臭灵丹、车桑子、光萼猪屎豆、葫芦茶、云南地桃花、西南宿苞豆、岗柃的种子在实验的 4 光照条件下均处于休眠状态(Jurado & Flores,2005)，也就是说本实验条件—变温、不同光照均不能打破这些种子的休眠，还需要进一步开展打破其休眠的研究。

研究中发现四方蒿、沙针对光照的需求相似，均为白光、红光有利于其萌发，黑暗、蓝光对萌发有抑制作用。主要原因可能是红光，以及白光中的红橙区域（660nm 波长）的光波对种子萌发具有促进作用，可以解除休眠，这和 Borthwick（1954）对生菜的研究结果类似。红光（660nm）可以增加种内光敏色素的活性，促进叶绿素的形成，对种子萌发、胚轴伸长进行调节，从而解除种子的休眠（崔现亮,2014a）。蓝光和黑暗条件下，光条件不能达到以上种子萌发需求，所以萌发率有很显著的降低，这和崔现亮等（2015）对山梅花种子、姜勇等（2012）对紫茎泽兰种子的萌发研究结果一致。四方蒿、沙针、藿香蓟总体上来看属于需光种子，但是对光的波长需求有所差异，即萌发需要不同波长的光照，在黑暗下萌发率降低。尖子木种子对光、暗没有需求，但红光却抑制种子的萌发，这种结果还没有报道出现，可能与红光照射时间有关，有些报道显示只需要照射短时间的光照就可以解除种子休眠。红光的长时间照射可能诱导尖子木种子进入次生休眠。红光（11 d）和白光（11 d）下沙针种子发芽开始时间最早，和 Jala（2011）对芒草（*Nepenthes mirabilis*）种子研究结果一致；另外，大叶斑鸠菊、尖子木黑暗下萌发最早，云南地桃花红光下萌发最早，四方蒿白光、红光、黑暗下萌发开始时间最早，其他的物种萌发开始时间对光质没有要求，可见不同的物种种子萌发开始时间对光质的需求是有一定差异的。这些差异可能与高等植物生活型有关，高位芽植物的生活型的幼苗有能力从土壤深处冒出来（在黑暗中），因为他们的种子有更多的资源(Rojas,1997)。

在白光、黑暗、蓝光、红光条件下种子的萌发率与种子大小间均有显著负相关关系；种子萌发速率、萌发开始时间与种子大小关系不明显。研究的 14 种植物种子萌发率与种子大小间关系与崔现亮等（2008）、卜海燕等（2007）、王桔红等（2007）、宗文杰等（2006）

的研究结果一致。但本研究发现不同光质间种子萌发率和种子大小的关系没有差异。较大种子产生的植株具有较高的存活和繁殖力，大种子不易受密度压力影响，在幼苗期大种子比小种子更有优势，大种子具有较高的养分从而使幼苗能更好的度过一些恶劣的环境；而小种子由于数量多、个体小、传播能力强，且萌发率高而具有竞争优势，因而更易定植入现存植被（Wulff,1986；崔现亮,2008），但在后期发展中不利，需要更多地萌发来补偿。种子大小实际上是由产生种子的亲本决定，从亲本的角度看种子大小的选择可能更有进化意义。

参考文献：

BASKIN CC, BASKIN JM, 1998. Seeds ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination [M]. San Diego:Academic Press: 16-17.

BEWLEY JD, BLACK M, 1982. Physiology and biochemistry of seeds [M]. Berlin: Springer-Verlag: 1-5.

BORTHWICK HA, HENDRICKS SB, TOOLE EH, 1954. Action spectrum for breaking of dormancy in lettuce [J]. Bot Gaz, 115: 205-225.

BURESCU L, CACHITA D, RACIUN C, 2015. The Effect of different wavelengths LED lighting on the growth of Spruce (*Picea abies* L) plantlets [J]. Rom Biotech Lett , 20(6): 11025-11034.

BU HY, REN QJ, XU XL, et al, 2006. Seed germinating characteristics of 54 gramineous species in the alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan planteau [J]. Acta Phytoecol Sin, 30 (4)624-632.[卜海燕，任青吉，徐秀丽，等，2006. 青藏高原东部高寒草甸 54 种禾本科植物种子萌发特性[J].植物生态学报，30(4)：624-632.]

CUI XL, LUO YT, SU ZL, et al, 2015. Effects of different light conditions on seed germination of *Spiraea rosthornii* and *Berberis aggregata* at different altitudes [J]. Chin J Ecol, 34(3): 642-647.[崔现亮，罗娅婷，苏志龙，等，2015. 光照对不同海拔的南川绣线菊和锥花小檗种子萌发的影响[J]. 生态学杂志，34 (03)：642-647.]

CUI XL, LUO YT, JIANG ZL, et al, 2014a. Effects of light and cold storage on seed germination of three shrub species from the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chin J Ecol, 33 (09): 2330 - 2335.[崔现亮，罗娅婷，蒋智林，等，2014a. 光照和冷藏时间对青藏高原东缘三种灌木种子萌发的影响[J].生态学杂志，33(09)：2330-2335.]

CUI XL, LUO YT, QIU QW, et al, 2014b. Variations of *achyranthes bidentata* germination at different regions [J]. N Hortic, 38(19): 150-153.[崔现亮，罗娅婷，邱其伟，等，2014b. 不同地区牛膝种子的萌发变异[J].北方园艺，38(19)：150-153.]

CUI XL, LUO YT, BI TJ, et al, 2014c. Effect of storage and temperature on seed germination of 12 shrub species from the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chin J Ecol, 33(1): 23-32.[崔现亮，罗娅婷，毕廷菊，等，2014c. 储藏和萌发温度对青藏高原东缘 12 种灌木种子萌发的影响[J].生态学杂志，33(01)：23-32.]

CUI XL, CHEN W, TAO C, *et al*, 2010. Seed germination characteristics of 11 *Berberis* species from eastern Qinghai-Tibet Plateau. Chin J Ecol, 29(8): 1505-1510.[崔现亮，陈文，陶川，等，2010.青藏高原东缘 11 种小檗属(*Berberis*)植物种子萌发特性[J].生态学杂志，29(8)：1505-1510.]

CUI XL, WANG JH, QI W, et al, 2008. Seed germination characteristics of shrub species from the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Ecol Sin, 28(11): 5294-5302.[崔现亮，王桔红，齐威，等，2008.青藏高原东缘灌木种子的萌发特性[J].生态学报，28(11)：5294-5302.]

GODO T, FUJIWARA K, GUAN K, 2011. Effects of wavelength of LED-light on in vitro asymbiotic germination and seedling growth of *Bletilla ochracea* Schltr.(Orchidaceae) [J]. Plant Biotechnol, 28(4): 397-400.

HE J, QIN L, CHONG ELC, et al, 2017. Plant growth and photosynthetic characteristics of *mesembryanthemum crystallinum* grown aeroponically under different blue- and red-LEDs [J]. Front Plant Sci, 8: 361.

JALA A, 2011. Effects of different light treatments on the germination of *Nepenthes mirabilis* [J]. Int Trans J Eng Manage Appl Sci Technol, 2(1): 83-91.

JURADO E, FLORES J, 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits[J]. J Veg Sci,

16(5): 559-564.

LIU WC, WEI F, HAN Z Y,et al, 2016. Effects of different Light qualities on the seed germination, Seedling growth and cold tolerance of cucumber [J]. N Hortic, 40(19): 59-62. [刘卫成，韦峰，韩泽宇，等，2016. 不同光质对黄瓜种子发芽、幼苗生长及抗寒性的影响[J]. 北方园艺，40(19)：59-62.]

ZHANG M, ZHU JJ, YAN QL, et al, 2012. Review on influence mechanisms of light in seed germination [J]. Acta Phytoecol Sin, 36(8): 899-908.[张敏，朱教君，闫巧玲，等，2012.光对种子萌发的影响机理研究进展[J].植物生态学报，36(8)：899-908.]

YAN XF, CAO M, 2006. Influence of Light and Temperature on the Germination of *Shorea wantianshuea* (Dipterocarpaceae) Seeds [J]. Chin Bull Bot, 23(6): 642-650.[闫兴富，曹敏.2006.光照和温度对望天树种子萌发的影响[J].植物学通讯，23(6)：642-650.]

ROBERTS HA, HEITHAUS ER, 1986 . Ants rearrange the vertebrate-generated seed shadow of a neotropical fig tree [J]. Ecol, 67(4): 1046-1051.

ROJAS AM, OROZCO SA, VAZQUEZ YC, 1997. Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlán Valley in Puebla, México [J]. J Arid Environ, 36(4): 571-578.

WEI F, QI JX, LI JM, et al, 2015. Effects of different Light qualities on the seed germination, Seedling growth and cold tolerance of Pepper [J]. Acta Agric Zhejiangensis, 27(11): 1932-1938.[韦峰，祁娟霞，李佳梅，等，2015. 不同光质对辣椒种子萌发、幼苗生长及抗寒性的影响[J].浙江农业学报，27(11)：1932-1938.]

WANG CY, ZHANG CH, LIU W, et al, 2011. Effects of seed mass on germination of Lamiaceae species in the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Agrestia Sin, 19(4):601-606.[王晨阳，张春辉，刘文，等，2011.青藏高原东缘唇形科植物种子大小对萌发的影响研究[J].草地学报，19(4)：601-606.]

WANG JH, CUI XL, CHEN XL, et al, 2007. Comparative study of seed germination, seed size and their relationships in mesad and siccoclous [J]. Acta Phytoecol Sin, 31(6): 1037-1045.[王桔红，崔现亮，陈学林，等，2007.中、旱生植物萌发特性及其与种子大小关系的比较研究[J].植物生态学报，31(6)：1037-1045.]

WULFF RD, 1986. Seed size variation in *Desmodium paniculatum*:effects on seedling growth and physiological performance [J]. J Ecol, 74(1): 99-114.

ZHAO T, LI J, AN YR. et al, 2018. Effect of light quality and intensity on seed germination and seedling physiological characteristics of *Polygala tenuifolia* [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 24(10): 66-71.[赵停，李静，安衍茹，等，2018. 光质、光强对远志种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].中国实验方剂学杂志，24(10)：66-71.]

ZONG WJ, LIU K, BU HY, et al, 2006. The mode of seed size variation and the effects of seed size on 51 species of Compositae plants in Alpine Meadow [J]. J Lanzhou Univ(Natural Sciences), 42(5): 52-55.[宗文杰，刘坤，卜海燕，等，2006. 高寒草甸 51 种菊科植物种子大小变异及其对种子萌发的影响研究[J].兰州大学学报(自然科学版)，42(5)：52-55.]